

# USO DA BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO ADIÇÃO NO ASFALTO PARA MANUTENÇÃO DE ESTRADAS

Glairton Nogueira<sup>1</sup>  
Adolfo Pastana de Oliveira<sup>2</sup>  
Diogo de Almeida Marques<sup>2</sup>  
Sarah Bueno de Castro<sup>3</sup>  
Anderson Sales Budelon<sup>2</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento estrutural e mecânico das misturas asfálticas empregadas na manutenção das vias pavimentadas com a incorporação de borracha reciclada de pneus usados. A metodologia empregada resultou em significativa melhoria do desempenho estrutural da mistura asfáltica com borracha quando comparada com uma mistura de referência (sem borracha). Observaram-se as alterações no desempenho das misturas variando-se as quantidades de cimento asfáltico e borracha para uma mesma composição granulométrica de agregados. As misturas foram avaliadas com base no Método Marshall e resistência à tração por compressão diametral. Encontrando o traço adequado para que se tenha uma economia de ligantes e um aproveitamento considerado da borracha extraída de pneus inservíveis, que na sua maioria acabam poluindo o meio ambiente. Todos os resultados dos ensaios são apresentados.

**Palavras-chave:** Ensaios. Misturas asfálticas. Borracha.

## USE OF INSERVABLE TIRE RUBBER AS ADDITION TO ASPHALT FOR MAINTENANCE OF ROADS

### ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the structural and mechanical behavior of asphalt mixtures used in maintenance of paved pathways with the incorporation of recycled rubber tires used. The methodology employed has resulted in significant improvement of the structural performance of asphalt mixture with rubber when compared to a reference mixture (without rubber). Observed changes in performance of mixtures varying quantities of rubber and asphalt cement for a same granulometric composition of aggregates. The mixes were evaluated based on the Marshall Method and tensile strength by diametral compression. Finding the appropriate trait for a saving of binders and a recovery considered rubber extracted from scrap tires, which mostly end up polluting the environment. All results of the tests are presented.

**Keywords:** Essays. Asphalt mixtures. Rubber.

Recebido em 18 de abril de 2020. Aprovado em 30 de abril de 2020.

---

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia Ambiental pela PUC Goiás, atua em atividades voltadas para o gerenciamento de projetos ambientais, materiais de construção e resíduos sólidos agroindustriais. Possui formação técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG).

<sup>2</sup> Centro Universitário Luterano de Santarém

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica de Goiás

## INTRODUÇÃO

A busca por alternativas para a construção de rodovias é constante, dada à escassez de materiais naturais e ao aumento de custos dos materiais de construção.

Segundo Cury (2002), o alto custo e a função estrutural das camadas asfálticas e cimentadas são aspectos marcantes no desempenho do pavimento, esta razão de se combinar asfaltos com determinados polímeros é prevenir a degradação prematura do pavimento com o uso e reduzir os custos de manutenção.

De acordo com Salini (1998), a utilização da borracha, como polímero, adicionado ao cimento asfáltico tradicional não é apenas um produto a mais, inerte, colocado apenas para “recheiar”, e sim, funciona como um grande ligante do asfalto reconhecido mundialmente.

Devido às crescentes preocupações ambientais, tem-se questionado a respeito da destinação ou deposição de pneus inservíveis. O reaproveitamento destes pneus se constitui, em todo o mundo, em um desafio, dadas as suas peculiaridades de durabilidade, quantidade, volume, peso e, principalmente, dificuldade de propiciar uma nova destinação ecológica e economicamente viável (MORILHA JR. e GRECA, 2003).

Nesse sentido, a utilização da borracha de pneu moído, ou pó de pneu, nas misturas asfálticas mostra-se como uma das alternativas ambientalmente adequadas, que pode apresentar grandes reduções de volume desse resíduo em todo o mundo (CURY, 2002).

O pavimento asfáltico é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

A ocorrência prematura e excessiva de deformação permanente nos pavimentos asfálticos tem sido motivo de grande preocupação entre técnicos e pesquisadores brasileiros da área de pavimentação. As deformações que aparecem sob a forma de depressões longitudinais nas trilhas de roda, são o resultado da acumulação de pequenos afundamentos que ocorrem toda vez que um carregamento é aplicado (SILVA, 2007).

Entretanto, a incorporação de borracha proveniente de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos tem sido utilizada em larga escala devido a conveniência ecológica de proporcionar uma destinação adequada aos pneus inservíveis e a melhoria técnica que o ligante asfáltico agrega, com sua modificação proporcionada pela borracha, são os grandes motivadores da utilização deste tipo de ligante (PINTO, 1998).

A matéria prima desses pneus pode ser empregada de várias formas, desde a sua utilização total através de alternativas viáveis economicamente e ecologicamente adequadas como também na formação de depósitos clandestinos, geradores de degradação ambiental.

Um dos usos mais nobres da borracha pulverizada é como insumo modificador dos asfaltos tradicionais. Esta modificação obtida é interessante e extremamente benéfica para melhoria do ligante e aumento da durabilidade dos pavimentos asfálticos (MEDINA, 1997).

O principal fator que motiva a incorporação de polímeros no asfalto é aumentar a vida de serviço do pavimento, diminuindo a susceptibilidade da mistura asfáltica às variações térmicas, aos riscos de deformações permanentes e falhas por fadiga. Preferivelmente os polímeros também devem melhorar as características elásticas do pavimento, contribuir para uma maior adesão entre o cimento asfáltico e o agregado, aumentar a resistência ao envelhecimento do cimento asfáltico, entre outras (SENÇO, 1997).

A modificação ou melhoria dos ligantes asfálticos utilizados em pavimentação, com adição de borracha de pneus, é considerada uma alternativa atraente para o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos, já que o resultado final é um revestimento com

características técnicas superiores às verificadas em misturas asfálticas convencionais (BALBO, 2007).

Conforme Souza (1980), a borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, trazendo uma série de melhorias que se refletem diretamente na durabilidade do pavimento, a saber: a incorporação de agentes anti-oxidantes e inibidores da ação de raios ultravioleta que diminuem, sensivelmente, o envelhecimento do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), o aumento da resistência à ação química de óleos e combustíveis, a diminuição da suscetibilidade térmica e o aumento da deformação de tração admissível (melhorando o comportamento à fadiga).

O asfalto borracha é uma mistura efetuada a quente, sob condições controladas, de ligante asfáltico (Cimento asfáltico de petróleo – CAP), borracha moída de pneus (BMP), onde o teor da borracha varia de 15% a 20% em relação ao peso total da mistura, diluentes e alguns aditivos especiais se houver necessidade (CASTRO, 2010).

Contudo, este trabalho tem como objetivo avaliar a incorporação da borracha de pneus inservíveis como aditivo no Asfalto para manutenção de estradas, mediante a realização de ensaios, comprovando viabilidade técnica, questões sociais e ambientais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados agregados, cimento asfáltico e borracha triturada de pneus. Estes materiais foram caracterizados seguindo-se as normas ou procedimentos específicos.

No método de produção asfáltica incluindo a borracha como aglutinante de adesividade foi realizado a seguindo os padrões técnicos laboratoriais para todos os tipos de agregados exigidos pelo DNIT diferenciando somente no manuseio da borracha como aglutinante de adesividade externa.

Operação primária: secar os materiais em estufa para eliminação de umidade indesejada e de outros detritos em fogo baixo para não danificar os mesmos em temperatura média de 60°C e depois separa-los em bandejas as porções a serem trabalhadas.

Operação intermediária: execução dos cálculos da densidade, peso específico e granulometria para a produção do asfalto.

Operação conclusiva: elevar os agregados misturados (areia média + pó de brita) em um recipiente à temperatura de 161 °C, de acordo com os seus percentuais desejados. Em outro recipiente misturar (CAP + borracha moída) e elevar ao fogo à temperatura de 170 °C de acordo com os seus percentuais desejados, permanecendo no mínimo por 40 minutos na temperatura estipulada para um melhor amolecimento da borracha.

Após atingir as temperaturas desejadas adiciona-se o aglutinante (CAP + borracha) aos agregados (areia média e pó de brita) misturando com uma espátula até se alcançar uma homogeneidade, em seguida colocar em um recipiente de moldagem de corpo de prova, desferindo 75 golpes com soquete de moldagem na face do corpo de prova. Uma vez pronto e após 24hs ele é submetido aos testes de qualidade realizados em laboratório.

O aglutinante usado na mistura foi o C.A.P (Cimento Asfáltico de Petróleo) CAP50/70 produzido e comercializado pela Empresa Petrobrás e Manaus – AM e a borracha triturada nas empresas locais de recauchutagem de pneus no município de Santarém.

Os agregados empregados no ensaio foram a areia média, encontrada no barranco do Conrado em Santarém, e pó de brita oriundo da mineradora Caltarem na cidade de Monte Alegre. Agregado 1 (areia média) com densidade real de 2,63 e peso específico de 1,21 e Agregado 2 (pó de brita) com densidade real de 2,67 e peso específico de 1,51.

Os testes foram feitos a partir de dosagem de mistura betuminosa A.A.U.Q. (Areia Asfáltica Usinado à Quente).

Para a composição percentual da mistura dos agregados foi utilizado o método de tentativas, alcançando os valores de 40% de pó de brita e 60% de areia média. A composição da mistura pode ser identificada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição da mistura.

<b>Peneiras</b>	<b>Faixa de projeto (%)</b>	<b>Faixa “A” (%) - DNIT</b>	<b>Faixa Média (%)</b>
¾”	100	100	100
½”	100	100-100	100
3/8”	100	100-100	100
Nº4	94,8	80-100	90,0
Nº10	79,5	60-95	77,5
Nº40	23,9	16-52	34,0
Nº80	7,1	4-15	9,5
Nº200	4,7	2-10	6,0

Fonte: Resultados de Ensaios, de acordo com normas do DNIT.

A borracha empregada foi obtida por trituração do material resultante da decapagem de pneus de veículos comerciais leves, com granulometria máxima de 2,4 mm e com 70% ficando retido na peneira 0,297mm (peneira Nº 50). Pelo fato de inexistir um ensaio rodoviário específico, a determinação da densidade real da borracha foi efetuada a partir da média de quatro leituras de deslocamento de fluido (querosene) à temperatura de 25° C, apresentado na Tabela 2.

Este procedimento foi adotado por ser de fácil execução e permitir boa precisão. Em um recipiente graduado de laboratório (béquer) foram colocados 12 ml de querosene e foi determinado o peso inicial. A seguir foram adicionados 2 ml de borracha e o conjunto foi novamente pesado (peso final). Conhecendo-se o volume de borracha adicionado e a diferença de peso (peso final - peso inicial) foi possível determinar a densidade da borracha.

**Tabela 2** - Leituras efetuadas com a borracha para determinar a densidade.

<b>Número da amostra</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Densidade da amostra</b>	<b>Densidade média</b>
1	42,95	45,30	1,18	
2	42,75	45,09	1,17	1,16
3	42,75	45,04	1,15	
4	42,73	45,05	1,16	

Fonte: Estudo feito em laboratório.

As temperaturas de trabalho para as diversas etapas do procedimento Método Marshall, foram baseadas tomando-se como referência a correlação da curva “Viscosidade/Temperatura”:

- Aquecimento dos agregados entre 161 a 177 °C;
- Temperatura de asfalto para mistura entre 150 a 153 °C;
- Temperatura de compactação da massa entre 144 a 150 °C.

Para a moldagem, cura e ruptura dos corpos de prova, foram dosadas em laboratório quatro misturas, e para cada uma foram moldados três corpos de prova, com porcentagens de asfalto variando entre 6,0%; 6,5%; 7,0% e 7,5%.

Após a determinação da relação “Densidade x Vazio”, os blocos foram encaminhados à prensa para ruptura.

Todos os ensaios foram realizados atendendo as especificações do DNIT. Os corpos de prova foram moldados com 75 golpes à temperatura de 150 °C.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do Método Marshall mostram os parâmetros obtidos no ensaio para a mistura experimental com borracha, sendo que cada valor corresponde à média de leituras em três corpos de prova. Na Tabela 3 é possível identificar os parâmetros variando o teor de CAP.

Nota-se que a densidade aparente apresentou comportamento rigorosamente condizente com o emprego de borracha. A adição de um material leve (borracha), a densidade da mistura final diminuiu proporcionalmente.

**Tabela 3** - Análise dos parâmetros variando o teor de CAP.

Descrição	Teores de asfalto (%)			
	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
M.E teórica g/cm <sup>3</sup>	2,42	2,40	2,38	2,37
M.E unitária compactada g/cm <sup>3</sup>	2,21	2,23	2,23	2,24
Vazios totais (%)	8,7	7,0	6,5	5,4
Vazios do agregado mineral (VAM) (%)	21,7	21,2	21,8	21,9
Saturação (RBV) (%)	59,9	67,0	70,3	75,3
Estabilidade Marshall (kg)	420	443	409	414
Fluência (mm)	3,4	3,4	3,7	4,5

Fonte: Estudo feito em laboratório.

A estabilidade das misturas com borracha demonstrou-se significativamente abaixo da verificada no traço convencional. No entanto, quando empregado um teor de CAP por volta de 5% e 1,5% de borracha apresentou valores de estabilidade máxima, verificando que esse percentual de material é o mais adequado para adicionar nas misturas asfálticas dentro da metodologia adotada.

O volume de vazios apresentou um comportamento regular em todos os traços avaliados. Verificou-se que há um aumento no volume de vazios proporcional à quantidade de borracha adicionada para um mesmo teor de CAP.

Observou-se que com a adição de borracha favoreceu o aumento do percentual de vazios decorrente da dificuldade em compactar a mistura, dificuldade esta que também colabora para a diminuição da densidade.

Analisando as curvas representativas de variação das diversas propriedades e em função do grau de saturação médio (RBV - Relação Betume Vazios) e da melhor densificação da mistura, resultou na melhor aplicação com teor de asfalto correspondente a 6,5%, onde 5,0% de CAP e 1,5% de borracha triturada.

Através dos resultados de resistência a tração por compressão diametral, observou-se uma queda da resistência à tração com o aumento da quantidade de borracha na mistura,

comportamento que, em primeira análise, é o oposto daquele esperado, ou seja, com o incremento da quantidade de borracha havia a expectativa de que a resistência à tração aumentasse, como identificado na pesquisa de Cury (2002).

O comportamento verificado, entretanto, pode ser explicado pela redução da viscosidade da mistura devido ao aumento da quantidade de borracha, uma vez que a velocidade de aplicação da carga é a mesma para todos os corpos de prova.

A viscosidade final da mistura asfáltica (agregado + CAP + borracha) é dada pela combinação das viscosidades individuais dos seus componentes, assim, quando há a adição de uma quantidade maior de borracha a viscosidade final da mistura diminui.

A mistura com mais borracha é menos viscosa e deforma mais rapidamente, oferecendo uma resistência menor à aplicação da carga, ou seja, para poder efetuar uma comparação em bases iguais seria necessário ajustar a velocidade de aplicação da carga de acordo com a viscosidade do corpo de prova para os diferentes percentuais de borracha, como identificado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Comparação da estabilidade.

<b>Ensaio de Resistência à Tração</b>	
Mistura Tradicional	Resistência (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	768
2	789
3	730
Mistura com borracha	Resistência (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	425
2	430
3	415

Fonte: Estudo feito em laboratório.

Há convergência dos valores obtidos quando o teor de CAP se aproxima de 6,5%, indicando que, nesta situação, a quantidade de cimento asfáltico possui influência decisiva na determinação da resistência à tração.

De acordo com Gonçalves (1999) a relação borracha/betume é tal que a importância da quantidade de borracha existente na mistura para a determinação da resistência à tração é muito pequena em relação à quantidade de CAP. A curva granulométrica, por ser a mesma para todas as misturas, não possui influência.

## CONCLUSÃO

Nesta pesquisa avaliamos a utilização da borracha proveniente de pneus inservíveis em misturas asfálticas utilizadas na manutenção de vias. Analisamos a viabilidade da inserção da borracha no traço convencional de asfalto, avaliando a resistência alcançada, sua estabilidade e qualidade do material.

Constatou-se que a cada tonelada de asfalto produzido com 15% de borracha aplicada em uma avenida, corresponderá a 150 kg de material reciclado com uma economia de CAP de 1,5% com a utilização da borracha.

Diante disso é importante avançar nestas pesquisas para que se possa executar um traço ideal encontrado em laboratório e aplicando-o na prática em uma usina de asfalto. Assim, os resultados econômicos e ambientais serão significativos.

## REFERÊNCIAS

- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- CASTRO, B. A. C. **Construção de Estradas e Vias Urbanas: Notas de Aula**, Rio de Janeiro, 2010.
- CURY, M. V. Q. **Análise Sócio-Econômica e Ambiental Para o Uso de Asfalto Emborrachado na Construção de Rodovias**. Rio de Janeiro: IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2002.
- GONÇALVES, F. J. P. **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.
- MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.
- MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. **Considerações Relacionadas ao asfalto Ecológico – Ecoflex**. Paraná, 2003.
- PINTO, S. **Materiais Pétreos e Concreto Asfáltico: Conceituação e Dosagem**. Departamento de Engenharia de Fortificação, IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 81p. 1998.
- SALINI, R. B. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. In: Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor de Transportes. Santa Catarina, 1998.
- SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 1997.
- SILVA, J. P. S. **A Incorporação de Borracha de Pneus Inservíveis em Revestimentos Asfálticos de Pavimentos Rodoviários e Urbanos**. Revista Espaço da Sophia. 2007.
- SOUZA, M. L. **Pavimentação Rodoviária**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1980.